

複数の損傷モードを考慮した屋外重要土木構造物のフラジリティー評価手法

－ 応答解析法による曲げ破壊, せん断破壊のフラジリティー －

日本大学 正会員 ○中村 晋

(独)原子力安全基盤機構 正会員 中村英孝, 森和成

(株)ニュージェック 正会員 松本敏克

大成建設(株) 正会員 坂下克之

(株)バーテック 正会員 丹羽三郎

1. はじめに

現存する原子力発電施設内の海水管ダクトの様な RC 形式の地中構造物は, 許容応力度法に基づいて設計されたものが多い。許容応力度法では, 部材の許容応力により限界状態を評価するため, 曲げモードが卓越した損傷モードになるとは限らない。また, 「屋外重要土木構造物の耐震設計性能照査指針」¹⁾で示された限界状態設計法でも, 耐震設計により損傷モードを曲げ破壊が先行するように規定できるが, 耐久性設計などをふまえ, 最終的な断面性能の損傷モードが曲げ破壊になると限らない。

ここでは, 原子力発電施設の屋外重要土木構造物における部材の曲げおよびせん断破壊に関する損傷モードを考慮した構造体としてのフラジリティー評価の構築を目的とし, 応答解析により曲げ破壊, せん断破壊を対象としたフラジリティー評価を行い, 両モードの発生の可能性について比較を行う。検討の対象とする屋外重要土木構造物は, 既往の検討²⁾で用いられている現存すると想定される海水管ダクトとした。また, フラジリティーの評価は, 堤らにより提案されている有限要素法を用いた手法³⁾を用いた。

2. 解析モデルおよびフラジリティー評価用地震動

海水管ダクトのモデルには, 土木学会より耐震設計例として示された地盤および構造モデルを用いる。現実的応答の中央値の評価に用いた2次元動的逐次非線形解析の解析モデルを図-1に示す。海水管ダクトは幅 8.8m, 高さ 4.7m の RC 造で, 2連のボックス構造である。地盤は水平成層構造とし, 基本的な地盤物性は地表から GL-20m までがせん断波速度 300m/s の砂層, それ以深はせん断波速度 700m/s の岩盤とする。海水管ダクトは, GL-2.9 から -7.6m の間に設置されている。減衰定数の初期値は砂層、岩盤とも 2%とした。

原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準⁴⁾では, フラジリティー評価に用いる地震動の作成手法として3つの方法が示されている。ここでは既往の検討⁵⁾で用いられた目標スペクトルに基づく模擬地震波を本検討のフラジリティー評価に用いる。検討に用いた 300Gal, 600Gal および 900Gal の地震波形のうち 900Gal の波形を図-2に示す。また, 2000Gal の地震波形もフラジリティー評価に用いているが, その波形は 900Gal の波形の最大振幅を調整することにより作成した。

3. フラジリティー評価に用いる限界状態と不確実さ

構造物の曲げ, せん断に関する損傷モードの限界状態は, 前述の土木学会による性能照査指針¹⁾に示されたそれぞれの限界値に基づき評価する。ここで, 曲げ, せん断についてはそれぞれ層間変形角, 耐力評価式を用いる。せん断耐力の評価に際して, 対象構造物は, せん断補強筋を有していないが, 幅止め筋程度の鉄筋比(0.075%)のせん断補強筋を有している場合も含む 2つのケースについて検討を行った。

現実的応答, 現実的耐力の不確実さの評価は, 堤らにより示された方法を用いた。ここで, 構成材料の強度などの平均値は, 現存構造物を対象とするという観点から実強度相当値を用いた。

4. 損傷モードに応じたフラジリティー評価

まず, 曲げ, せん断について現実的応答と現実的耐力の入力加速度に応じた確率密度関数のうち, 900Gal に対するそれらの比較を図-3に示す。ここで, 各損傷モードの現実的応答と現実的耐力は, 偶然的不確実性と認識論的不確実性とを考慮して算出したものである。次に, 曲げ破壊, せん断破壊に関するフラジリティー曲線の比較を図-4に示す。図に示す曲線は, 各モードの損傷確率が対数正規分布関数に従うと仮定し, 入力

キーワード フラジリティー曲線, 曲げ破壊, せん断破壊, 海水管ダクト

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1 日本大学工学部土木工学科 TEL:024-956-8712

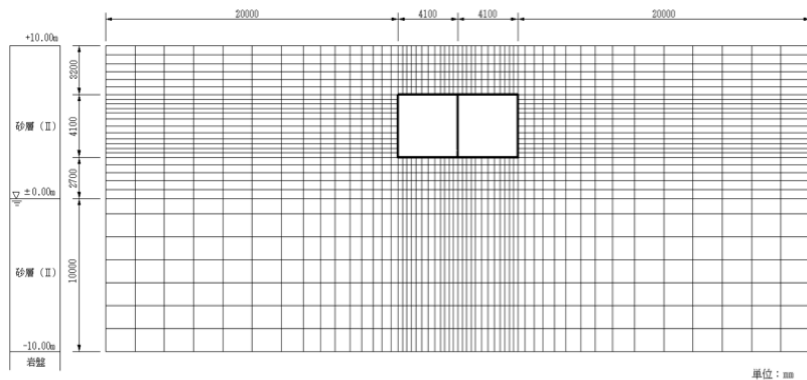


図-1 解析モデル

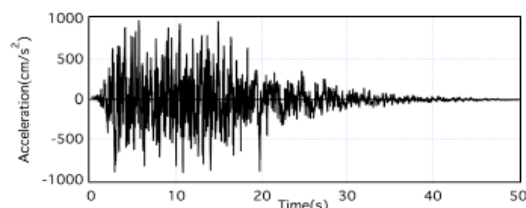
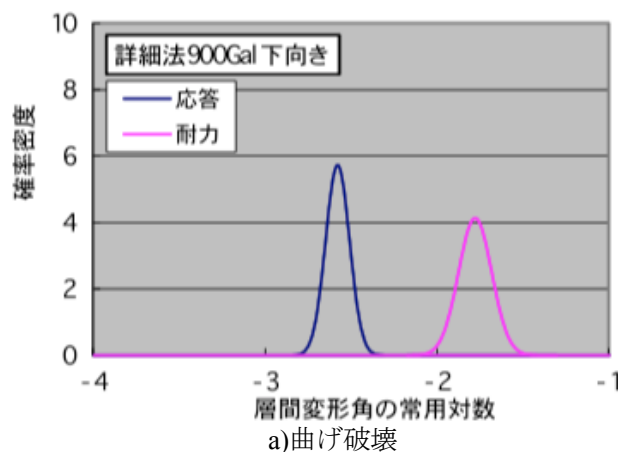
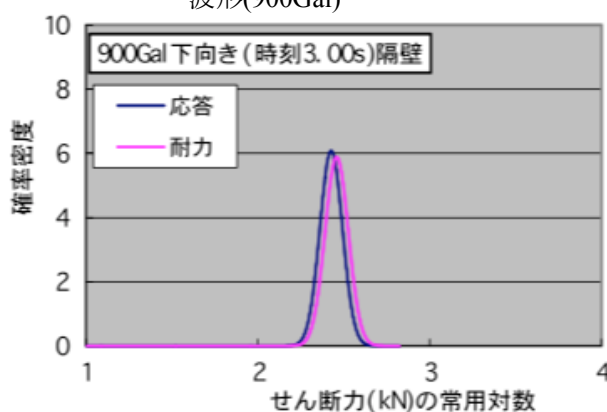


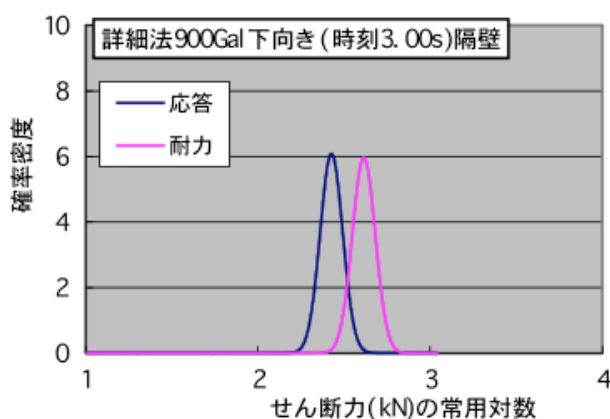
図-2 フラジリティー評価に用いた入力加速度波形(900Gal)



a) 曲げ破壊

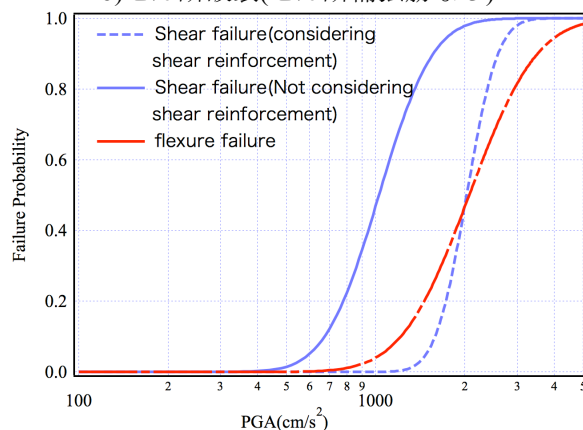


b) せん断破壊(せん断補強筋なし)



c) せん断破壊(せん断補強筋考慮)

図-3 現実的応答と現実的耐力に関する確率密度関数の比較(900Gal)

図-4 フラジリティー曲線の比較
(偶然的不確実性, 認識論的不確実性考慮)

加速度レベルに応じた損傷確率との残差が最小となるよう、最小自乗法により求めた。

これより、せん断補強筋がない場合、損傷確率が50%となる加速度レベルは1000Gal程度であり、損傷モードとしてはせん断破壊が卓越するが、せん断補強筋を考慮した場合、曲げ、せん断とも損傷確率が50%となる加速度レベルは2000Gal程度となり、両損傷モードが同定度に生じる可能性があることが分かる。

これらより、海水管ダクトのような屋外重要土木構造物の損傷モードは部材のせん断耐力に応じて単一としない可能性を有していることがわかる。

参考文献

- 1) (社)土木学会, 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル, 2005.6
- 2) (社)土木学会, 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル, 1992
- 3) 堤, 蛭沢, 中村, 原子力施設における地中構造物の実用的な損傷確率評価手法の提案, 土木学会論文集 A Vol.63 No.4, pp704-715, 2007.10
- 4) (社)日本原子力学会, 日本原子力学会標準, 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全性評価実施基準, 2007
- 5) (独)原子力安全基盤機構, 地震に係わる確率論的安全性評価手法の整備に関する報告書-屋外重要土木構造物の耐力・損傷確率評価, 2005